

# CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DA GÊNESE DO FOSFATO DE OLINDA

(ESTADO DE PERNAMBUCO)

IVAN DE MEDEIROS TINOCO \*

Escola de Geologia da U.F.Pe.  
Recife, PE.

## GENERALIDADES

Dentro da facies transgressiva da Formação Gramame ocorre um sedimento arenoso, relativamente fino, argiloso com um considerável teor de calcário e uma alta concentração de fosfato (mesmo acima de 30% em  $P_2O_5$ ). A espessura varia muito, de poucos decímetros até 4m.

Estudando material procedente de várias sondagens efetuadas em Forno da Cal, Olinda, KEGEL (1955) apontou que o fosfato economicamente explorável ocorria sobre um arenito friável com baixo teor calcário, o qual aquele cientista considerou a facies continental da Formação Itamaracá. Sobre a facies marinha da Formação Itamaracá, arenito calcífero duro interdigitado com o arenito friável, ocorriam calcários de cor cinza com alto teor de  $P_2O_5$ .

Na sondagem 205 realizada a oeste de Forno da Cal, que atingiu a profundidade de 21,9m, o teor de  $P_2O_5$  varia, entre os 18 e 20,9m, de 4 a 11,2% de  $P_2O_5$ , desaparecendo aos 21,9m. O estudo microscópico dos testemunhos de calcário com o alto teor fosfático (de 18 a 20,9m) não revelou quaisquer estruturas características do fosfato propriamente dito, sendo o  $P_2O_5$  difuso nos sedimentos.

BEURLEN (1967) e MABESONE (1967) pelas observações estratigráficas e sedimentológicas, respectivas, consideram os depósitos de fosfato como sedimentação paralela aos arenitos calcíferos da facies transgressiva da Formação Gramame (Vide Tabela I).

## OS COMPONENTES DO FOSFATO

O fosfato das minas em exploração nos municípios de Olinda e Paulista é de cor esbranquiçada a amarela, muito argiloso. Microscopicamente observam-se grãos de quartzo e feldspato, subangulosos, e numerosos moldes internos de foraminíferos que muitas vezes estão aglutinados a grãos de calcário fosfatizados ou mesmo de quartzo. Os grãos possuem um tamanho quase igual. A feição característica dos grãos de areia fosfática é que são compostos por agregados de diminutos oóides com fragmentos fosfatizados, grãos de areia quartzosa e moldes de foraminíferos, têm a superfície brilhante e irregular, pitiformes ou placentiformes, medindo as primeiras, cerca de 0,65mm e, as placentiformes, de 0,75 a 1,00mm. À primeira vista estes agregados lembram foraminíferos dos gêneros *Psamosphaera* e *Reophax*, contudo, examinados em secção delgada revelam estrutura diversa.

Além dos foraminíferos, são comuns moldes internos fosfatizados de microgastrópodes e valvas de ostrácodes. Nas camadas mais inferiores, observa-se grande quantidade de corpúsculos ovóides ou mesmo cilíndricos de superfícies brilhante, com estrutura em camadas concêntricas, constituídos de calcários fosfatizado. Esses corpúsculos foram identificados por KEGEL (1955) como coprólitos.

Em única amostra proveniente de Iamã, Município de Paulista, um fragmento medindo 2mm, revelou em lâmina delgada uma estrutura de alga calcária (TINOCO, 1962).

Entre os foraminíferos, as formas planctônicas (*Globotruncana contusa*, *G. stuarti*, *Rugoglobigerina rugosa*, *Heterohelix*, *Pseudotertularia* etc.)

\* Pesquisador-Bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas.

TABELA I

Idade	Formação	Fácies <sup>1</sup>	Sedimentos	Paleontologia	Micropaleontologia	Espessura
Paleoceno	Maria Farinha	Regressão	Calciclásticos, argilas	Zona de <i>Cimonia pernambucensis</i> e <i>Hercoglossa lamegoi</i>	<i>Globigerina</i> e <i>Chiloguembelina</i>	Total 30m.
Maestrichtiano	Gramame	Calcária	Biomieritos argilosos	Zona de <i>Sphenodiscus</i>	<i>Globotruncana contusa</i> e <i>G. stuarti</i>	Total ± 40m.
		Fosfato	Calcarenitos fosfáticos		<i>Fallotia santosae</i>	
		Litoral (transgressão)	Arenitos calcíferos, Calcarenitos		<i>Globotruncana contusa</i> e <i>Globotruncana stuarti</i>	
Campaniano — Santoniano	Beberibe	Fluvial	Arenitos esbranquiçados de granulação média- conglomerática	Zona de <i>Pseudoschloenbachia</i>		Total ± 300m.
		Estuarina Lagunar	Arenitos Silts			

1) Na Formação Gramame a fácies calcária jaz no topo das outras fácies, que são paralelas; na Formação Beberibe as três fácies são paralelas (Segundo, Mabesoone, Tinoco e Coutinho, 1968).

são mais ou menos abundantes e revelam a mesma idade dos calcários e margas da facies calcária superior, Maestrichtiano Superior. Os foraminíferos bentônicos estão representados por *Siphogenerinoides*, *Orthokarstenia*, *Nodosaria*, *Tritaxia*, *Gaudryina* e *Epistominella*, que também ocorrem no calcário de côr cinza com alto teor de  $P_2O_5$  e na parte basal do calcário sobreposto ao fosfato.

Destaca-se entre as formas bentônicas, o peneoplídeo *Fallotia santosae* (TINOCO, 1962). Os miliólídeos são raros.

Tubos de poliquetas sedentários do gênero *Hamulus* são mais ou menos encontrados. Os corais estão representados por raros hexacorais isolados ou coloniais de pequeno porte e ainda não identificados. Os moluscos são abundantes, os gastrópodos são mais freqüentes que os lamelibrânquios, sendo raros os cefalópodes. A malacofauna não encerra todos os componentes da facies calcária sobrejacente nem da facies litoral paralela, contudo contém elementos comuns com as duas facies, notadamente gastrópodos e lamelibrânquios, sendo raros os moluscos exclusivos da facies fosfática.

Segundo BEURLIN (1967), que estudou a malacofauna, esta tem caráter anão, pela dominância de formas de porte relativamente pequeno em relação com os exemplares das mesmas espécies encontradas nas facies calcária e litoral.

Entre os vertebrados, os dentes de peixes, encontrados quer como micro ou macrofósseis, e as vértebras representam espécies de seláquios de porte avantajado (de 1,5 a 8m), tôdas peculiares a águas tropicais e de alimentação carnívora por excelência.

Os répteis são representados por dentes de *Globidens* e de mosassauros PRICE (1969).

#### ANÁLISE DAS OBSERVAÇÕES

A presença de fósseis, notadamente de foraminíferos e micromoluscos, em forma de moldes internos fosfatizados, evidencia uma deposição primária do fosfato.

A presença de foraminíferos planetônicos, nos sedimentos, indicam condições de mar aberto, apontando também, quando ocorrem com certa abundância,

áreas com alta produtividade orgânica, visto haver uma relação direta plâncton-nutrimento.

A abundância de foraminíferos planetônicos foi interpretada por GRIMSDALE & MORKOVEN (1955), para o Golfo do México, como indicação de deposição em águas profundas. Contudo, sendo uma questão de diluição nos sedimentos, pode ser interpretada como pouca ou nenhuma sedimentação, o que explicaria a abundância de testas de foraminíferos planetônicos nos sedimentos de águas profundas.

A presença de material terrígeno no fosfato e a pouca dispersão da fração areia do fosfato, caráter tipicamente litorâneo, indicam proximidades da costa, favorecendo ainda mais a idéia de alta produtividade orgânica, o que implicaria na existência de um influxo de águas ricas em fosfatos e nitratos das partes mais profundas, pelas correntes ascendentes (ressurgência).

Vários mecanismos podem produzir ressurgência. Na costa brasileira a causa mais freqüente é o vento alísco de nordeste e, sendo uma causa sazonal, esta ressurgência é periódica; a produtividade seria máxima num certo período de tempo e decairia, cessada a ressurgência.

Nas zonas equatoriais, sob uma corrente superficial quente, existe uma corrente oposta fria, a corrente de Cromwell, entre as quais a ondulação da superfície de separação se propaga, ganhando em amplitude e produzindo emersão de águas profundas ricas em nitratos e fosfatos. Tal fenômeno só pode processar-se em locais fora da plataforma continental, sobre o talude continental.

Uma outra causa de ressurgência é o encontro de duas massas de água com características térmicas diferentes; a água mais fria penetra como uma cunha na água quente produzindo a ascensão dos sais nutrientes. Nada poderá afirmar a existência de correntes frias permanentes na costa brasileira cretácea. O testemunho fóssil afirma o contrário, uma fauna de mar quente tropical. Uma corrente fria permanente, além de trazer consigo nutrimento, traz uma composição biológica característica, enquanto uma ressurgência sazonal traria apenas o nutrimento, o que acarretaria o desenvolvimento de organismos locais.

Na microfauna bentônica de foraminíferos, destaca-se a espécie restrita ao fosfato, *Fallotia santosae* (Tinoco), um peneroplídeo cujos moldes internos fosfatizados se assemelham às formas erodidas de *Archais angulatus* (Fichtel & Moll), muito encontrada nas águas quentes da plataforma interna da costa do Nordeste, próximo ao litoral. Como seu homeomorfo, *Fallotia* deve ter distribuição em águas quentes e rasas.

A presença de algas calcárias também favorece a idéia desse tipo de ambiente.

A malacofauna, considerada anã pela uniformidade de tamanho, não implica necessariamente em nanismo, podendo tratar-se de espécimes imaturos.

Uma fauna anã pode resultar de vários fatores, entre os quais a mudança da composição química da água, devido à invasão de água doce, concentração de sal, ferro ou outros elementos químicos, aumento do teor de  $H_2S$  ou de outros gases, presença de lama e impurezas em suspensão, variações de temperatura e ação, e fatores externos que impossibilitem o desenvolvimento normal dos organismos. Além dessas causas externas, o nanismo pode resultar da ação de meio externo sobre o metabolismo — a pobreza de nutrimento pela carência de elementos nutritivos necessários ao crescimento ou, ao crescimento ou, ao contrário, excepcionais condições de nutrimento, causando a aceleração dos processos metabólicos e conseqüente maturidade prematura. A temperatura, conforme observação de vários pesquisadores, pode retardar ou acelerar os processos biológicos, de modo que os organismos de clima quente podem atingir maturidade em menor espaço de tempo do que os de clima frio e, conseqüentemente, apresentarem menor porte.

Todos esses fatores atuam quase do mesmo modo sobre os foraminíferos e moluscos, conforme pode ser concluído da leitura da bibliografia sobre o assunto.

No fosfato, a microfauna de foraminíferos apresenta um desenvolvimento normal, não se observando nanismo nem imaturidade, o que exclui a ação dos fatores citados, capazes de provocar nanismo. Conseqüentemente, deve ter havido um fator que atuasse apenas sobre os moluscos.

Uma fauna de pequeno porte pode resultar da existência de fortes correntes marinhas suficientemente intensas para só permitir o deslocamento de espécimes robustos ou de maior porte, conforme observado por GRAHAM em 1949 (in TASCII, 1957), nas costas de Norfolk, Inglaterra. Caso esse fato se verificasse durante a precipitação do fosfato, este representaria verdadeiro depósito de detritos orgânicos, seria bem maior o seu conteúdo paleontológico, notadamente de material desgastado.

FRENCH, em 1871 (in TASCII, 1957), regeitou o nanismo como explicação para as faunas constituídas por indivíduos de pequeno porte. Visitando a baía de Messina, Itália, aquêlê pesquisador observou que nas partes mais baixas da baía existia uma verdadeira floresta de algas onde dominava uma fauna imatura de pequenos moluscos, que ali encontravam proteção e alimento. Os pequenos exemplares tinham mais habilidade em penetrar na cobertura de algas que, no caso, funcionava como verdadeira peneira natural, excluindo espécimes de maior porte.

A explicação de FRENCH, bem fundamentada em fatos reais, não afasta a possibilidade de que uma massa de algas ou qualquer outra peneira natural, possa funcionar como fator limitador das dimensões das faunas a ela associadas.

A explicação de FRENCH pode justificar a existência de uma malacofauna constituída de exemplares de menor porte nas camadas de fosfato. Por outro lado, a abundância de animais num ambiente, implica necessariamente na existência de maior quantidade de alimentos, em última análise, de vegetais. As algas vivem em águas ricas em oxigênio, nas quais seus restos se desintegram rapidamente após a morte e, a não ser no caso de algas calcárias, não deixam fósseis ou estruturas que permitam reconhecê-las, os componentes citoplasmáticos solúveis retornam à água e os insolúveis se difundem nos sedimentos do fundo ou são consumidos como alimento pelos organismos saprófagos.

#### HIPÓTESES SOBRE A ORIGEM DOS FOSFATOS SEDIMENTARES

Os depósitos de fosfatos sedimentares são conhecidos nos diversos continentes, atestando que as excepcionais condições necessárias à sedimentação

de fosfato tem-se repetido localmente, em diversas épocas geológicas.

Numerosas hipóteses têm sido sugeridas para explicar a origem desses depósitos; a mais antiga, considera uma origem orgânica. Nos depósitos então conhecidos, a abundância de ossos e fragmentos de verbrados sugeria uma distrução em massa, catastrófica, ou um cemitério natural pela convergência de correntes marinhas.

KOZAKOV em trabalhos publicados em 1937 e 1950 aventou uma origem química pelas correntes marinhas ascendentes ricas em fosfatos (ressurgência).

MANSFIELD, em 1940, sugeriu que a fluoroapatita teria origem do fluor liberado nas emanções vulcânicas e dissolvido na água do mar.

Outros autores, entre os quais EMERY & DIETZ (1950), consideraram que os fosfatos se depositaram em regiões de alta produtividade orgânica, contudo, têm uma origem química. Após a morte do plâncton ou de outros organismos não planetônicos, seus restos se decomporiam e o fósforo citoplasmático retornaria à água em sua forma solúvel. Em certa época do ano, os íons P e Ca poderiam exceder à solubilidade, depositando-se o fosfato tricálcico no fundo da água em estado coloidal, numa profundidade entre 30 e 300m.

Fundamentado em trabalhos experimentais de outros pesquisadores, CHARLES (1953), defendeu uma hipótese bioquímica para os fosfatos sedimentares. Considerando a capacidade das algas marinhas em fixar o fósforo dissolvido na água, CHARLES aponta-as como os elementos que têm concorrido essencialmente, em tôdas as épocas para a formação de fosfato sedimentar. Os organismos animais se bem que intervenham igualmente na gênese dos fosfatos, exercem papel secundário. Nas florestas aquáticas desenvolve-se rica e variada população animal que ali encontra alimento e proteção. CHARLES também aventa uma origem autóctone ou alóctone decorrente do relêvo do fundo marinho.

BUSHINSKI (1964), considerando o fato segundo o qual no mar de Behring e no mar Cáspio as vasas do fundo encerram um teor de fosfato de até 150 vezes maior do que nas águas junto ao fundo, sendo estas concentrações mais altas encontradas em

vasas de 30 a 200m, opina por uma origem bioquímica. O alto teor de fosfato trazido pelas águas dos rios produzem área de alta produtividade orgânica. Após a morte dos organismos, seus cadáveres afundariam e da decomposição resultaria a dispersão do fósforo na lama do fundo, fosfatização do  $\text{CO}_3\text{Ca}$  e posterior concentração em pelotilhas, concreções e outras estruturas. Isto se passaria em condições de águas tranqüilas, especialmente em cavidades entre bancos de areia do fundo. A concentração dessas estruturas em camadas ricas em fosfato seria efetuada por lavagem e separação dos elementos misturados mais finos, pelas ondas, durante períodos de mar agitado. Dêsse modo, os processos de formação e concentração dar-se-iam em estágios alternantes de águas calmas e agitadas.

BUSHINSKI também faz referência a grãos de fosfato que possuem as mesmas características dos grãos de areia fosfática do fosfato de Olinda, considerando-os, juntamente com as pelotilhas, oólitos e concreções fosfáticas, como resultantes de uma concentração de fosfato disperso em depósitos, dissolvidos ou duros, porém via estágio de dissolução. Admite, ainda, que muitas dessas estruturas fosfatizadas possam constituir, realmente, coprólitos fosfatizados.

## CONCLUSÕES

As considerações aqui desenvolvidas permitem, a título de conclusões, as seguintes sugestões:

(1) A presença de microfósseis em sua maioria sob forma de moldes internos fosfatizados, apontam uma sedimentação primária do fosfato.

(2) A facies fosfática da Formação Gramame se depositou em águas rasas da plataforma continental como é sugerido pela presença de foraminíferos do gênero *Fallotia*, pela estrutura de alga calcária e pela pouca dispersão dos grãos da fração areia.

(3) A presença de abundantes foraminíferos planetônicos no fosfato, além de indicar condições de mar aberto, sugerem uma área de alta produtividade orgânica, visto haver uma relação direta zooplâncton-fitoplâncton-nutrimiento. Essa produtividade implicaria necessariamente na existência de um influxo sazonal de águas ricas em fosfatos, das

partes mais profundas, pelas correntes ascendentes (ressurgência sazonal).

(4) Se bem que organismos animais possam intervir como formadores de fosfato, os organismos vegetais, principalmente as algas, são os mais capazes para a assimilação de fosfatos em solução na água do mar, além de constituírem elementos primários da cadeia alimentar e se desenvolverem com maior rapidez permitindo acumulações sazonais.

(5) A existência de uma fauna de moluscos com indivíduos de menor porte, como indicado pelo testemunho paleontológico do fosfato, favorece à idéia de uma verdadeira "algenwald" capaz de permitir alimento e proteção a espécimes bentônicos imaturos.

(6) Em águas calmas, o plâncton e as algas mortas se depositariam e decomporiam no fundo, havendo formação de estruturas fosfatizadas.

(7) Em fases periódicas de águas agitadas, o material fosfatizado ficaria entulhado nos declives do fundo, dando lugar à concentração de fosfato.

(8) Com o progresso da transgressão diminuiria a sedimentação dos fosfatos e teria início a sedimentação da facies calcária da Formação Gramame.

#### AGRADECIMENTOS

Para a realização das pesquisas, tivemos o auxílio do Conselho Nacional de Pesquisas, pelo que somos profundamente agradecidos. Aos Professores da Escola de Geologia da U.F.Pe, Drs. K Beurlen e J.M. Mabesoone pela leitura crítica e sugestões durante a elaboração dos trabalhos, o nosso agradecimento.

#### SUMMARY

Within the transgressive facies of the Gramame Formation occurs a calcareous sandy sediment with a certain concentration of phosphate (over 30%  $P_2O_5$ ) varying in thickness, but never more than 4m.

Detailed microscopic studies, together with paleontological investigations and consulted references, lead to following preliminary suppositions:

(1) — The microfossils are constituted of internal moulds indicating a primary sedimentation.

(2) — The phosphate facies was deposited in shallow waters: the foraminiferal genus *Falotia* (homomorph of *Archaias*) occurs most abundantly at depths between 0 and 50m, in tropical waters. The presence of calcareous algal structures confirms this.

(3) — The presence of numerous planktonic foraminifera points open ocean conditions with a high organic production on the continental shelf, indicating the existence of upwelling of phosphate-rich water from greater depths.

(4) — The algae seem to be the best phosphate fixation organisms; their rapid accumulation causes the phosphate concentration.

(5) — The existence of a young malacofauna in the phosphate beds favours the idea of a real "Algenwald" permitting food and shelter to immature specimens.

(6) — In the quiet waters, plankton and algae decompose at the bottom forming the typical structures found in the present deposit.

(7) — During periods of more agitated water the phosphate concentrates in quieter, somewhat deeper places.

(8) — An increasing transgression did stop the phosphate formation and caused the deposition of the limestone facies of the Gramame Formation.

#### BIBLIOGRAFIA

- BEURLEN, K., 1967 — Paleontologia da Faixa Costeira Recife-João Pessoa. **Bol. Soc. Bras. Geol.**, 16(1): 75-79.
- BUSHINSKI, G. I., 1964 — On the shallow water origin of phosphorite deposits. Em L.M.J.U. van Straaten (Editor), 1964, **Deltaic and shallow marine deposits**. Elsevier, Amsterdam: p. 62-70.
- CHARLES, G., 1952 — **Sur l'origine des gisements de phosphates de chaux sédimentaires**. Cong. Geol. Intern., Compt-Rendus 19eme, Algéria, 1952, p. 163-184.
- EMERY, K. O. & DIETZ, R. S., 1950 — Phosphorite deposits off California and Mexico. **California Jour. Mines Geol.**, 45:35.
- KEGEL, W., 1955 — Geologia do fosfato de Pernambuco. **Div. Geol. Miner. Bol.** 157: 54 p.
- MABESOONE, J. M., 1967 — Sedimentologia da faixa costeira Recife-João Pessoa. **Bol. Soc. Bras. Geol.**, 16(1):57-72.
- MABESOONE, J. M.; TINOCO, I. M. & COUTINHO, P. N., 1968 — The Mesozoic-Tertiary boundary in Northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecol.**, 4:161-185.
- PRICE, L. I., 1957 — A presença de *Globidens* no Cretácico Superior do Brasil. **Div. Geol. Miner. Bol.** 169:24, 3 est.
- REBOUÇAS, J. C. & SANTOS, R. S., 1956 — Fauna ictiológica do fosfato de Pernambuco. **Div. Geol. Miner. Bol.** 162:29, 4 est.
- TASCH, P., 1957 — Fauna and Palaeoecology of the Pennsylvanian Dry Shale of Kansas. **Geol. Soc. Amer. Mem.** 67, **Palaeoecology**, pp. 365-406.
- TINOCO, I. M., 1962 — Contribuição ao conhecimento da microfauna do fosfato de Pernambuco. Parte I. Foraminíferos: o Gênero *Fascispira*. **Arq. Geol. Univ. Recife**, 4:49-65, 3 est.